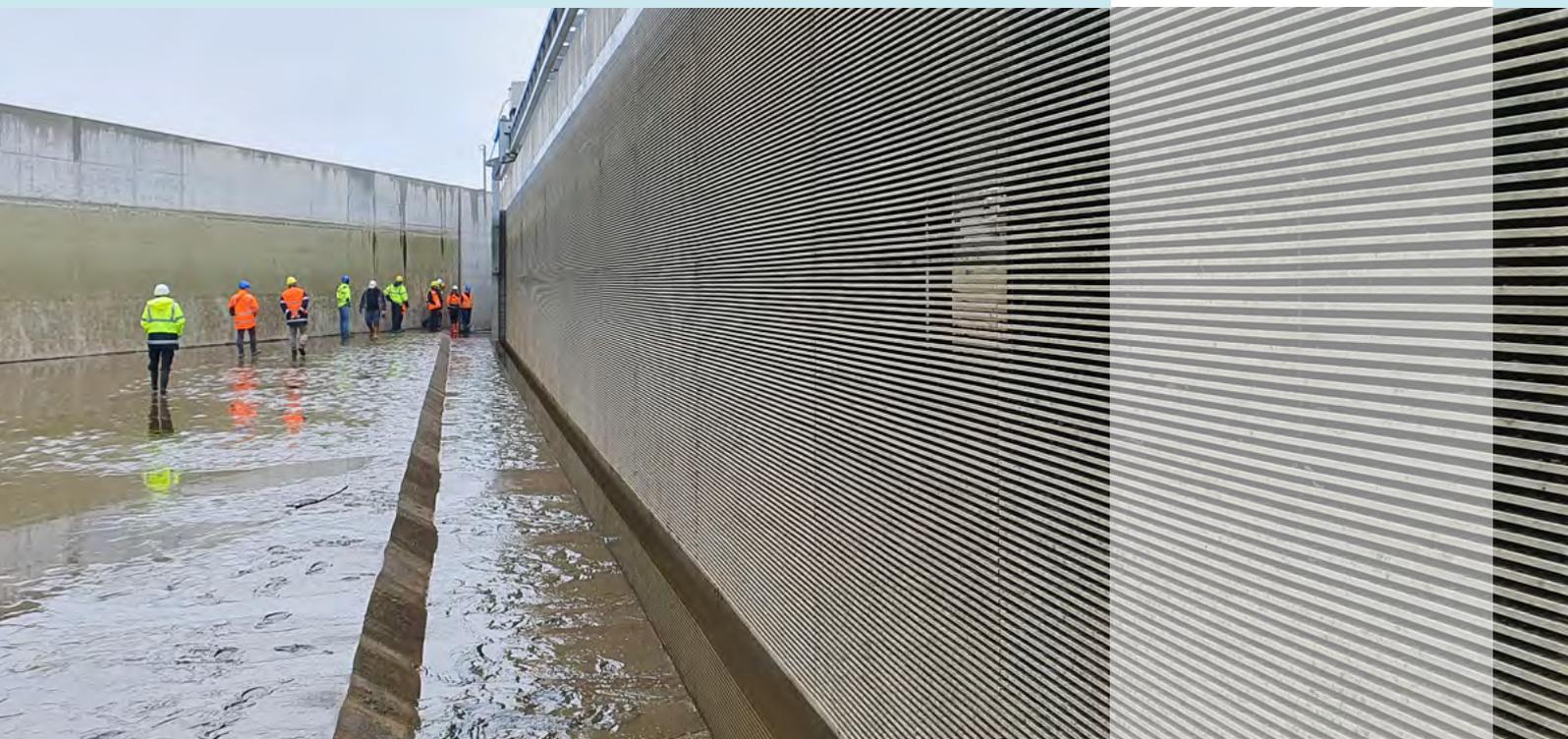




# Wann ist ein Rechen ein Fischschutzrechen?

Die funktionalen Elemente eines Fischschutzsystems



## Kernaussagen

- » Ein Fischschutzsystem muss an Neubau- wie Bestandwasser- kraftanlagen zwingend drei Funktionen erfüllen: Blockieren, Leiten und Ableiten.
- » In Fischschutzsystemen bilden Fischschutzrechen und Bypässe eine funktionale Einheit. Rechen ohne Bypässe oder Bypässe ohne geeigneten Rechen stellen kein Schutzsystem dar.
- » Horizontal schräg angeströmte Fischschutzrechen leiten Fische über die gesamte Wassersäule zum Bypass. Die Fische können in ihrem natürlichen Schwimmhorizont verbleiben.
- » Vertikal schräg angeströmte Fischschutzrechen können Fische oberflächennah Bypasseinstiegen oder Sammelvorrichtungen über die gesamte Breite des Turbineneinlasses zuleiten.

### In Fischschutzsystemen bilden Fischschutzrechen und Bypässe eine funktionale Einheit

Zum Schutz der Fische und Neunaugen (im Folgenden vereinfacht den Fischen zugeordnet) an Wasserkraftanlagen (WKA) gewinnen mechanische Barrieren zunehmend an Bedeutung. Die Aufgabe von Einlaufrechen vor Turbinen besteht traditionell im Rückhalt von Geschwemmsel, um die Turbinen vor Beschädigungen zu schützen. Fische an WKA mittels Rechen vor dem Eindringen in Turbinen zu schützen, kam als Anforderung hinzu. Dieser Anspruch spiegelt sich im aktuellen Wasserhaushaltsgesetz und in den Fischereigesetzen der Länder wider (siehe Fact Sheet 02). Traditionelle Rechen zum Geschwemmsel-Rückhalt erfüllen die Anforderungen an den Fischschutz in der Regel nicht.

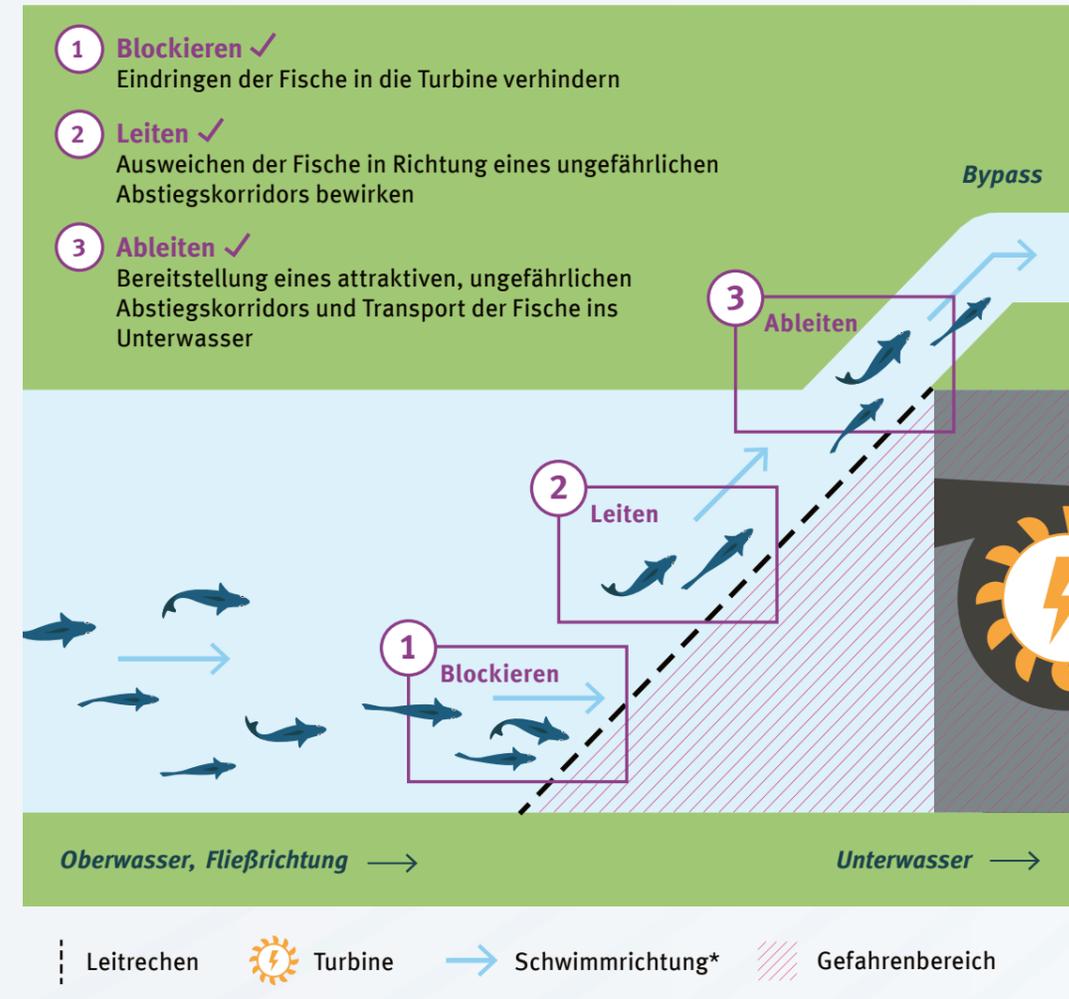
Für den Rückhalt sowie die Weiterleitung von Geschwemmsel durch Rechen gibt es bewährte und effektive technische Lösungen. Das Einschwimmen von Fischen in Turbinen mittels Rechen ebenso erfolgreich zu verhindern, erweist sich als deutlich komplizierter. Die Probleme liegen hierbei vor allem im Schutz kleiner, schwimmschwacher Arten und Stadien sowie der Weiterleitung der Tiere in das Unterwasser ohne große Verzögerung oder zusätzliche physische Belastung. Allein mit einer Verringerung der lichten Stabweiten vorhandener Rechen ist dieses Ziel in der Regel nicht zu erreichen. Ein Rechen mit der Funktion eines Fischschutzrechens bildet mit der zwingend erforderlichen Fischabstiegseinrichtung als alternativem Abstiegskorridor im Fischschutzsystem stets eine funktionale Einheit. Einzeln und isoliert voneinander sind beide Komponenten in der Regel wirkungslos. Rechen und Abstiegskorridore müssen eng aufeinander abgestimmt werden. Ein wirksames Fischschutzsystem muss drei grundlegende Funktionen erfüllen:

- » **Blockieren**  
Eindringen der Fische in die Turbine verhindern
- » **Leiten**  
Ausweichen der Fische entlang des Rechens in Richtung eines ungefährlichen Abstiegskorridors bewirken
- » **Ableiten**  
Bereitstellung eines attraktiven, ungefährlichen Abstiegskorridors und schadloser Transport der Fische ins Unterwasser

#### Blockieren

Rechen können Fische davon abhalten, in Turbinen einzuschwimmen. Zielfischarten und -stadien, deren maximale Durchmesser des Körperquerschnitts die lichten Stababstände eines Rechens überschreiten, können diesen physisch nicht passieren. Eine hinreichend zuverlässige mechanische Blockade ist mit dem aktuellen Stand der Technik (siehe Fact Sheet 04) jedoch nur für größere Zielarten bzw. Zielstadien zum Beispiel Blankaale, Lachssmolts oder Welse und Hechte ab dem ersten Lebensjahr realisierbar. Wollte man alle in Deutschland vorkommenden Fischarten

### Funktion eines Fischschutzsystems



Schematische Darstellung (Draufsicht) der drei Funktionen eines Fischschutzsystems: Blockieren, Leiten, Ableiten

\* Vereinfachte Fischpiktogramme – Die meisten Fischarten behalten in der Regel ihre positive rheotaktische Ausrichtung bei, wenn sie sich Fischschutzrechen nähern.

CC BY 4.0 Ecologic Institut & IGF Jena 2021

und Entwicklungsstadien mit der so erreichbaren Schutzrate (efficiency) von 100% schützen, wäre neben anderen Faktoren ein Stababstand von unter 2 mm nötig.

In den rechtlichen Bestimmungen zahlreicher deutscher Bundesländer sind zum Schutz der Fischfauna maximale, lichte Stababstände von  $\leq 20$  mm vorgegeben. In besonders ausgewiesenen Gewässern z. B. zum Schutz diadromer Arten sind geringere Abstände von 10 bis 15 mm gefordert (siehe Fact Sheet 02). Fischschutzrechen mit lichten Stababständen  $\leq 10$  mm, die für den Schutz von Fischen eines breiten Artenspektrums und einem Mindestalter von einem Jahr nötig wären, sind technisch realisierbar, aber bisher selten umgesetzt (siehe Fact Sheet 04).

### Passierbarkeit von 20- und 10 mm-Rechen

Permeabilität für Jungfische und Adulttiere verschiedener Fischarten

Fischart	20mm	10mm
Aland		
Bachforelle		
Barbe		
Barsch		
Brassen		
Döbel		
Flussneunauge <sup>1</sup>		
Giebel		
Gründling		
Güster		
Hasel		
Hecht		
Kaulbarsch		
Lachs		
Meerforelle		
Meerneunauge <sup>1</sup>		
Nase <sup>2,3</sup>		
Plötze		
Quappe		
Rapfen		
Rotfeder		
Schnäpel		
Stichling		
Stint		
Stromgründling		
Ukelei		
Wels		
Zährte <sup>4</sup>		
Zander		
Zope		

0+(1. Lebensjahr) 1+(2. Lebensjahr) Adult (geschlechtsreif)

Rechen Gefahrenbereich (Turbine, Leitapparat, Pumpe, etc.)

<sup>1</sup> 0+ und 1+ Tiere als Larven im Sediment lebend, daher eher geringe Mobilität

<sup>2</sup> Daten 0+ Länge nach Hauer et. al. 2008

<sup>3</sup> Daten Adultlänge nach Ebel 2013,

<sup>4</sup> Daten nach Lusk et al. 2005

Datenquelle restliche Arten: Schwevers & Adam 2020

CC BY 4.0 Ecologic Institut & IGF Jena 2021

### Erkenntnis

- » Fischschutzrechen mit lichtem Rechenstababstand von 20 mm (siehe Fact Sheet 02) sind für Adulte zahlreicher Arten, sowie für den überwiegenden Teil der 0+ und 1+ Fische passierbar.
- » Fischschutzrechen mit lichtem Rechenstababstand von 10 mm sind für Adulte zahlreicher potamodromer Arten und den Lachs ab dem 1. Lebensjahr nicht passierbar. Dennoch ist ein Schutz des überwiegenden Teils der 1+ und 0+ Fische nicht gegeben (siehe Fact Sheet 02).
- » Wollte man alle adulten Fische schützen, die in der Infografik „Passierbarkeit von 20- und 10 mm-Rechen“ enthalten sind, müsste der lichte Rechenstababstand 4,7 mm unterschreiten (Bemessungsart Dreistachliger Stichling\*). Zum Schutz aller Fische ab dem 2. Lebensjahr (> 1+) wären Abstände unter 3,1 mm (Bemessungsart Stint\*) und für alle ab dem 1. Lebensjahr (> 0+) unter 1,2 mm (Bemessungsart Stint\*) erforderlich.

\* Berechnung der Körperbreite mit Funktionen aus Schwevers und Adam 2020. Neunaugen sind nicht berücksichtigt, da diese im 0+ und 1+ Stadium als Larven im Sediment leben und eher geringe Mobilität zeigen.



Damit ein Rechen zu einem Fischschutzrechen wird, ist neben der physischen Unpassierbarkeit ein weiterer Schutzeffekt relevant. Rechen können von den Fischen über hydraulische, taktile und visuelle Reize wahrgenommen werden und eine Meidungsreaktion auslösen (Ebel 2013). Ein Rechen kann somit neben einer physischen auch eine verhaltensbedingte Blockade bewirken (Wagner 2016, de Bie et al. 2018, Wagner et al. 2021, Meister 2020). Durch diesen Effekt konnten an WKA-Standorten beispielsweise Schutzraten von 90,5 % bei Regenbogenforellen (Simmons 2000) und bis zu 92,5 % bei Lachsen (Travade & Larinier 2006) nachgewiesen werden. Eine höhere Anströmgeschwindigkeit kann die Meidungsreaktion verstärken (Gosset et al. 2005, Meister 2020). Dennoch muss sie so gering sein, dass die Fische jederzeit in der Lage sind, ohne Überschreitung ihrer Dauerschwimmgeschwindigkeit aktiv stromaufwärts auszuweichen. Dies gilt im besonderen Maß für physisch impermeable Rechen. Ansonsten besteht ein hohes Risiko des Anpressens der Tiere an die Barriere. Werden sie dabei verletzt oder getötet, kann dies im ungünstigsten Fall stärkere Schäden als eine Turbine verursachen. Konkrete Bemessungsempfehlungen für Rechen bezogen auf die Anströmgeschwindigkeit und die lichten Stabweiten finden sich in DWA (2005) und Ebel (2013).

★ **Empfehlung**

- » Ein Fischschutzrechen an einem Standort sollte einen Stababstand aufweisen, der für die ausgewählten Zielarten und Zielstadien physisch impermeabel ist. Aufgrund seiner verhaltensbedingten Wirkung können auch kleinere Fische geschützt werden.
- » Physisch impermeable Rechen können bei hohen Anströmgeschwindigkeiten ein hohes Schädigungsrisiko bewirken. Anströmgeschwindigkeit und lichter Stababstand sind jeweils aufeinander und auf das Schwimmvermögen der Zielfischarten abzustimmen.
- » Bei der Optimierung der verhaltensbedingten Blockade sind Anströmgeschwindigkeit, Anströmwinkel, Stabausrichtung und Rechengeometrie zu berücksichtigen. Für die Ableitung allgemeingültiger Empfehlungen zur Optimierung der verhaltensbedingten Schutzfunktion sind weitere systematische Untersuchungen notwendig.

**Leiten**

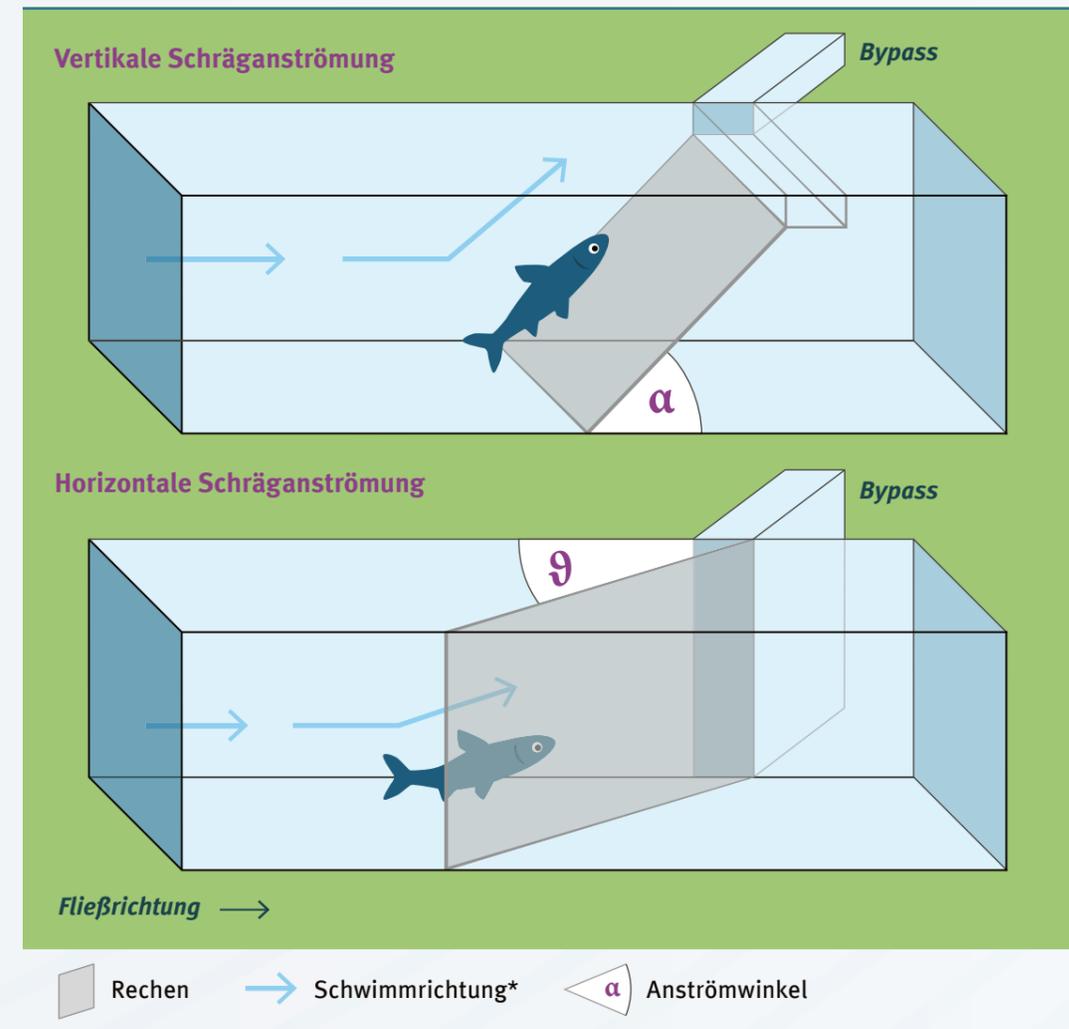
Das Blockieren am Fischschutzrechen schützt zwar den Fisch vor Verletzungen bei der Turbinenpassage, aber es wird grundsätzlich auch die aus populationsbiologischen Gründen notwendige Passage in das Unterwasser und damit das Fortsetzen der Fischwanderung verhindert. Unabhängig von einer physischen oder verhaltensbedingten Blockadefunktion muss ein **Fischschutzrechen** daher das Ausweichen der Fische in Richtung eines sicheren Abstiegskorridors fördern. Neben der Anströmgeschwindigkeit, die dem Schwimmvermögen der Zielarten am Standort gerecht werden muss, ist hierfür eine Schräganströmung des Rechens entscheidend.

Nahezu frontal angeströmte Rechen, wie sie in vielen Bestandsanlagen zu finden sind (Schwevers & Adam 2020), besitzen keine Leitwirkung. Es kommt häufig zu einer gegen die Strömung gerichteten Ausweichbewegung, an die sich ein Rückdriften zum Rechenfeld anschließt. Hierdurch gelangen die Fische an unterschiedliche Rechenbereiche, sodass Bypasseinstiege allenfalls unter günstigen Bedingungen zufällig von einzelnen Fischen gefunden werden können (Wagner 2016). Ein gezieltes Leiten in Richtung sicherer Abstiegskorridore ist nicht gegeben.

Voraussetzung für eine gerichtete Leitwirkung ist eine bezogen auf die Anströmungsrichtung geneigte Anordnung des Fischschutzrechens. Welcher Anströmwinkel erforderlich ist, um Fische effizient und möglichst ohne großen Zeit- und Energieverlust in Richtung Bypässe zu leiten, hängt von der Neigungsrichtung des Rechens, seiner Länge und dessen Anströmgeschwindigkeit ab. Bemessungsempfehlungen für Fischschutzrechen enthalten DWA (2005), Courret & Larinier (2008), Ebel (2013) und Fjeldstad et al. (2018).

Für **horizontal schräg angeströmte Fischschutzrechen** (angled screens) wird ein Winkel von  $< 45^\circ$  empfohlen (Ebel 2013). Bei dieser Neigung werden die Fische ohne Änderung ihres natürlichen Schwimmhorizontes entlang der

**Neigungsrichtungen und für die Leitfunktion relevante Anströmwinkel von Fischschutzrechen**



Fischschutzrechen mit vertikaler Schräganströmung sollen eine zur Oberfläche hin gerichtete Leitwirkung entfalten und die Fische oberflächennahen Abstiegsrichtungen zuführen. Fischschutzrechen mit horizontaler Schräganströmung sollen eine laterale Leitwirkung in Richtung seitlicher Abstiegsrichtungen bewirken. Die Anströmwinkel der Rechen haben einen entscheidenden Einfluss auf deren Leitfunktion (horizontaler Anströmwinkel  $\theta$ , vertikaler Anströmwinkel  $\alpha$ ). Die Rechenstabausrichtung ist bei der Betrachtung der Anströmung zunächst ohne Bedeutung.

\* Vereinfachte Fischpiktogramme – Die meisten Fischarten behalten in der Regel ihre positive rheotaktische Ausrichtung bei, wenn sie sich Fischschutzrechen nähern.

Quelle: verändert nach Ecologic Institut & IGF Jena

CC BY 4.0 Ecologic Institut & IGF Jena 2021

Barriere stromab geleitet. Es liegen bisher noch keine Erkenntnisse darüber vor, bis zu welchen maximalen Distanzen dies in der Praxis gelingt (siehe [Fact Sheet 04](#)). Sohlleitwände und oberflächennahe Tauchwände können die Leitwirkung für stark sohl- oder oberflächennah wandernde Fische verstärken (Ebel 2013). Untersuchungen an **vertikal schräg angeströmten Fischschutzrechen** (inclined screens) deuten darauf hin, dass auch bei diesen ein Anströmwinkel

von 45° unterschritten werden sollte (Calles et al. 2013, Schwevers & Adam 2020). Winkel von weniger als 25° verbessern die Leitwirkung allerdings erheblich (Cuchet 2014). Von Courret & Larinier (2008) werden  $\leq 26^\circ$  empfohlen.

Folgen die Fische diesen zur Wasseroberfläche hin geneigten Fischschutzrechen stromab, sind sie – bis auf die oberflächennah schwimmenden – gezwungen ihren ursprünglichen Schwimmhorizont zu verlassen. Für stark sohlorientierte Arten wie den Aal kann die Leitwirkung in Richtung oberflächennaher Bypässe hierdurch eingeschränkt sein (Gosset et al. 2005, Travade et al. 2010). Ergebnisse ethohydraulischer Versuche in Laborrinnen zeigten, dass horizontal schräg angeströmte Fischschutzrechen bei moderater Anströmgeschwindigkeit eine bessere Leitwirkung besitzen als vertikal schräg angeströmte (Russon et al. 2010, de Bie et al. 2018). An realen WKA-Standorten mit wesentlich größeren Wassertiefen im Oberwasser könnte dieser Effekt sogar stärker ausgeprägt sein, da die Fische hier weiter von ihrem natürlichen Schwimmhorizont abweichen müssen. Ergebnisse von vergleichenden Untersuchungen an WKA-Standorten sind allerdings nicht verfügbar. Für physisch unpassierbare, horizontal schräg angeströmte Fischschutzrechen ist für Aale eine hohe Schutzsystemableitrate (guidance efficiency) von 95% bei Freilanduntersuchungen (Calles et al. 2015) belegt, für vertikal schräg angeströmte sind es 82% (Calles et al. 2013).

#### ★ Empfehlung

- » Mechanische Barrieren sollten einen Anströmwinkel  $< 45^\circ$  aufweisen. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass der Weg in die Turbinen nicht nur blockiert wird, sondern die Fische aus dem Gefahrenbereich geleitet werden können.
- » An horizontal schräg angeströmten Fischschutzrechen können Fische im Vergleich zu vertikal schräg angeströmten Fischschutzrechen in ihrem ursprünglichen Schwimmhorizont verbleiben, wenn sie zu einem Bypass geleitet werden.

#### Ableiten

Zu einem Fischschutzsystem gehören neben dem Fischschutzrechen zwingend permanent funktionierende Abstiegskorridore, die im Folgenden zusammenfassend als Bypass bezeichnet werden. Sie müssen von den Fischen leicht aufgefunden werden können. Der Übergangsbereich aus dem Oberwasser sowie die Korridore selbst müssen für die Fische einen attraktiven Weg stromab darstellen. Sie dürfen kein Meidungsverhalten auslösen und müssen frei von Schädigungsrisiken sein.

Bypasseinstiege sind genau dort zu platzieren, wo die Fische durch den Fischschutzrechen hingeleitet werden. Sie müssen daher sowohl bei horizontal als auch bei vertikal schräg angeströmten Rechen unmittelbar am unterstromigen Ende des Rechenfeldes positioniert sein. Befindet sich der Bypasseinstieg lateral oder Richtung Oberwasser versetzt, kann die Auffindbarkeit des Bypasses bereits stark eingeschränkt sein (Wagner et al. 2021). Die Folge ist mindestens eine Verzögerung des Abstiegsvorgangs. Im schlimmsten Fall wird der Bypass nicht aufgefunden und

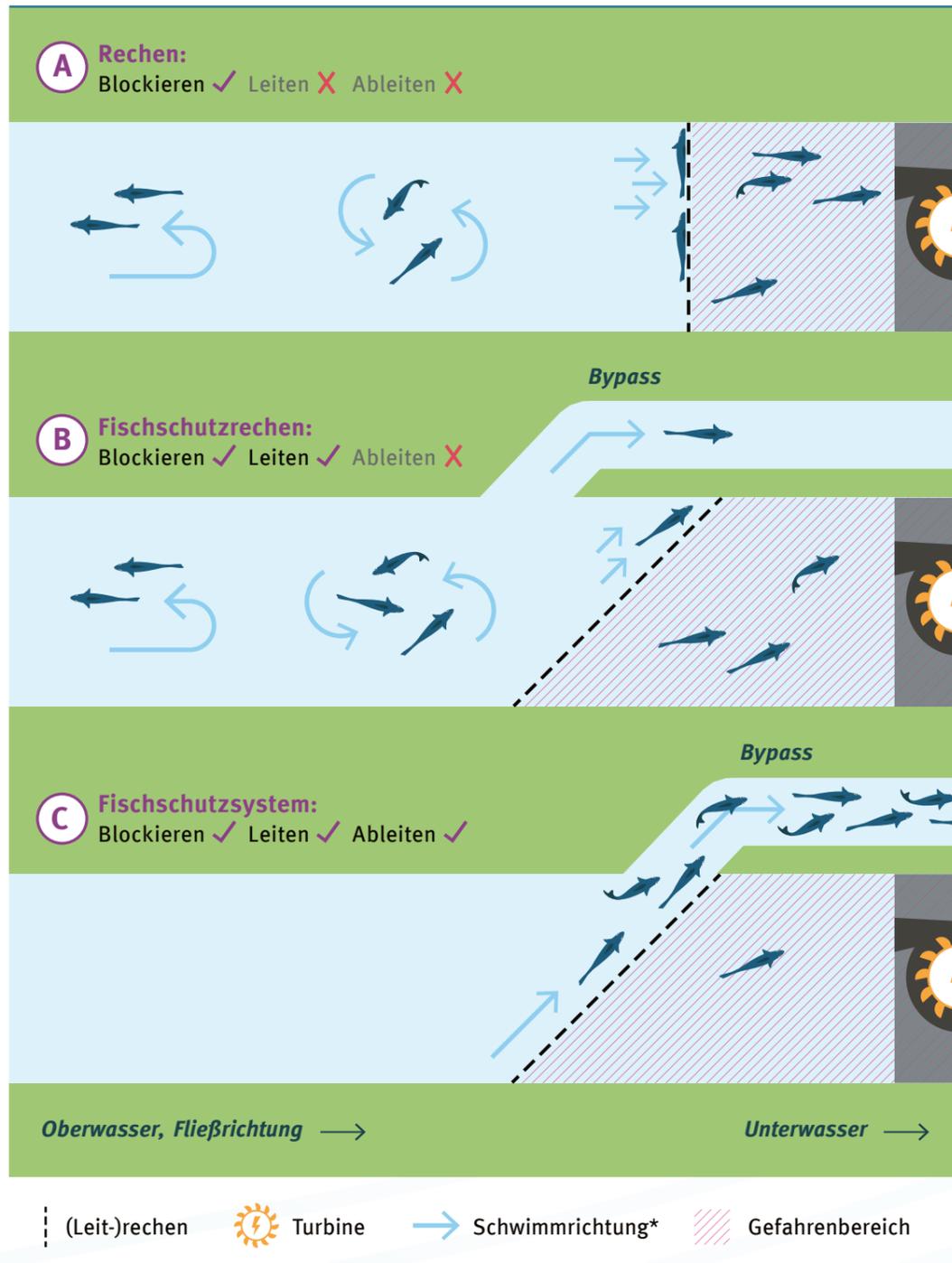
die Fische schwimmen erneut den Rechen an. Die ursprünglich gute Leitwirkung eines Rechens kann nach mehrfach vergeblichen Abstiegsversuchen deutlich nachlassen (Wagner et al. 2021). Sollen alle Fischarten erfolgreich ins Unterwasser abgeleitet werden, reicht in der Regel weder ein einzelner sohlnaher noch ein oberflächennaher Bypasseinstieg aus (Ebel 2013, Wagner 2016, Fjeldstad et al. 2018, Schwevers & Adam 2020). Optimal wäre ein über die gesamte Wassersäule durchgehender Bypasseinstieg. Ist dies nicht möglich, müssen in Abhängigkeit von der Gewässertiefe mehrere Bypasseinstiege über die gesamte Wassersäule verteilt, mindestens jedoch sohl- und oberflächennah angeboten werden. Systembedingt ist ein Leiten sohlorientierter Arten zu sohlnahen Bypasseinstiegen mit horizontal schräg angeströmten Fischschutzrechen möglich. Bei vertikal schräg angeströmten Fischschutzrechen werden die Fische hingegen stets Richtung Oberfläche und damit weg von sohlnahen Bypässen geleitet. Eine Ausnahme bilden Aale, für die bei Rechenerstkontakt sohlnahe Ausweichbewegungen stromauf belegt sind, so dass sie in spezielle Bypasssysteme geleitet werden können (Schwevers & Adam 2020).

Neben der Positionierung des Bypasseinstiegs bestimmen seine Dimensionierung und die hydraulische Situation vor und im Bypass, ob die Fische ihn verzögerungsfrei passieren. Starke Strömungsgradienten lösen Meidungsreaktionen aus (Enders et al. 2012, Vowles & Kemp 2012, Wagner 2016). Totwasserzonen zwischen Rechen und Bypasseinstiegen verschlechtern deren Auffindbarkeit (Wagner et al. 2021). Dies und ungünstige Strömungsverhältnisse im Einstieg und weiteren Verlauf des Bypasses führten an einem Standort dazu, dass trotz der guten Leitwirkung nur 12% der an das Rechenende geleiteten Fische den Einstieg erreichten und wiederum nur 23% dieser Tiere tatsächlich in den Bypass einschwammen (Wagner et al. 2021). Derart differenzierte Ergebnisse von Freilanduntersuchungen sind allerdings selten verfügbar. Bei der Nutzung von Radio- oder Akustik-Telemetry bei Untersuchungen zum Fischabstieg werden die Aspekte Auffindbarkeit und Einschwimmrate in der Regel im Parameter Schutzsystemableitrate (guidance efficiency) integriert abgebildet. Eine klare Trennung von der reinen Leitwirkung ist dann nicht möglich.

#### ★ Empfehlung

- » Bypasseinstiege sind unmittelbar am unterstromigen Ende des Fischschutzrechens zu platzieren.
- » Totwasserzonen zwischen Fischschutzrechen und Bypasseinstiegen schränken deren Auffindbarkeit ein.
- » Optimal wäre ein über die gesamte Wassersäule durchgehender Bypasseinstieg. Ist dies nicht möglich, müssen in Abhängigkeit von der Gewässertiefe mehrere Bypasseinstiege über die gesamte Wassersäule verteilt, mindestens jedoch sohl- und oberflächennah angeboten werden.
- » Starke Strömungsgradienten vor und in Bypasseinstiegen sind zu vermeiden.
- » Die Bypasspassage muss frei von Schädigungsrisiken sein.

Ein Rechen allein ist kein Fischschutzsystem



Ein Fischschutzsystem besteht immer aus einem Fischschutzrechen und einem Bypass, die funktional aufeinander abgestimmt sind.

\* Vereinfachte Fischpiktogramme – Die meisten Fischarten behalten in der Regel ihre positive rheotaktische Ausrichtung bei, wenn sie sich Fischschutzrechen nähern.

CC BY 4.0 Ecologic Institut & IGF Jena 2021

Ein Rechen ist kein Fischschutzsystem

Ein **Rechen** allein ist grundsätzlich kein Fischschutzsystem und bewirkt keinen sicheren Schutz der Fische vor einer Schädigung. Als Komponente eines **Fischschutzsystems** wird er nur wirksam, wenn er durch Schräganströmung eine Leitwirkung entfalten kann. Als **Fischschutzrechen** führt er die Fische gerichtet aus dem Gefahrenbereich heraus und hin zur zweiten Komponente des **Fischschutzsystems**, den Bypässen. Im günstigsten Fall gelangen die Fische bis unmittelbar vor einen gut wahrnehmbaren Bypasseinstieg. Der Bypass muss für sie einen schadlosen Weg in das Unterwasser darstellen, der keinerlei Meidungsreaktion auslöst. Unter diesen Bedingungen kann auch die verhaltensbedingte Schutzwirkung eines Fischschutzrechens nennenswert zum Fischschutz beitragen.

Definition Fischschutzrechen

Ein Rechen, der den Wanderkorridor Richtung Turbine schadlos für die Zielstadien der Zielfischarten blockiert und diese aufgrund seiner Schräganströmung zu Bypasseinstiegen leitet, ist ein Fischschutzrechen.



Quellen

Calles, O., Karlsson, S., Veza, P., Comoglio, C. & Tielman, J. (2013): Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. – *Freshwater Biology* 10/58: 2168-2179.

Calles, O., Christiansson, J., Kläppe, S., Alenäs, I., Karlsson, S., Nyqvist, D. & Hebrand, M. (2015): Slutrapport Hertingprojektet: förstudie och uppföljning av åtgärder för förbättrad fiskpassage 2007-2015. – Technical report. Naturresurs Rinnande Vatten, Biologi, Karlstads Universitet, Karlstad, Sweden.

Courret, D. & Larinier, M. (2008): Guide pour la conception de prises d'eau << ichtyocompatibles >> pour les petites centrales hydroélectriques. – Rapport GHAAPPE RA.08.04. 60p + annexe.

Cuchet, M. (2014): Fish protection and downstream migration at hydropower intakes. Investigation of fish behavior under laboratory conditions. – Diss. TU München– Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft 132.

De Bie, J., Peirson, G. & Kemp, P. S. (2018): Effectiveness of horizontally and vertically oriented wedge-wire screens to guide downstream moving juvenile chub (*Squalius cephalus*). – *Ecological Engineering* 123: 127-134.

DWA (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle, 2. korrigierte Auflage, Hennef.

Ebel, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. – Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie 4, Halle (Saale).

Enders, E. C., Gessel, M. H., Anderson, J. J. & Williams, J. G. (2012): Effects of Decelerating and Accelerating Flows on Juvenile Salmonid Behavior. – *Transactions of the American Fisheries Society* 141: 357-364.

- Fjeldstad, H.-P., Pulg, U. & Forseth, T. (2018): Safe two-way migration for salmonids and eel past hydropower structures in Europe: a review and recommendations for best-practice solutions. – *Mar. Freshwater Res.* 12/69: 1834–1847.
- Gosset, C., Travade, F., Durif, C. M. F., Rives, J. & Elie, P. (2005): Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. – *River Research and Applications* 21 (10): 1095–1105.
- Hauer, C., Unfer, G., Schmutz, S., Habersack, H. (2008): Morphodynamic Effects on the habitat of juvenile Cyprinids (*Chondrostoma nasus*) in a restored Austrian lowland river. *Environmental Management* 42: 279–96.
- Lusk, S., Lusková, V., Halacka, K., Šlechtová, V., Šlechta, V. (2005): Characteristics of the remnant *Vimba vimba* population in the upper part of the Dyje River. *Folia Zoologica* 54: 389–404.
- Meister, J. (2020): Fish protection and guidance at water intakes with horizontal bar rack bypass systems. – VAW-Mitteilungen 258, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), (R. M. Boes, ed.), Dissertation. ETH Zürich, Zürich.
- Økland, F., Havn, T. B., Thorstad, E. B., Heermann, L., Sæther, S. A., Tambets, M. et al. (2019): Mortality of downstream migrating European eel at power stations can be low when turbine mortality is eliminated by protection measures and safe bypass routes are available. – *International Review of Hydrobiology* 104 (3-4): 68–79.
- Russon, I. J., Kemp, P. S. & Calles, O. (2010): Response of downstream migrating adult European eels (*Anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. – *Ecology of Freshwater Fish* 19 (2): 197–205.
- Schwevers, U. & Adam, B. (2020): Fish protection technologies and fish ways for downstream migration. – 1. Aufl. Cham: Springer.
- Simmons, R. A. (2000): Effectiveness of a fish bypass with an angled bar rack at passing Atlantic salmon and Steelhead trout smolts at the Lower Saranac Hydroelectric Project. – In: Odeh, M. (Hrsg.): *Advances in Fish Passage Technology: Engineering design and biological evaluation*. – Bethesda / Maryland: 95–102.
- Travade, E. & Larinier, M. (2006): French experience in downstream migration devices. – Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna, DWA-Themen, Tagungsband Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft, 3.-7. April 2006: 91–99.
- Travade, F., Larinier, M., Subra, S., Gomes, P. & de Oliveira, E. (2010): Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. – *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 398: 1.
- Vowles, A. S. & Kemp, P. S. (2012): Effects of light on the behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) encountering accelerating flow: Application to downstream fish passage. – *Ecological Engineering* 47: 247–253. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.06.021
- Wagner, F. (2016): Vergleichende Analyse des Fischabstiegs an drei Wasserkraftanlagen einer Kraftwerkskette. – *Wasserwirtschaft* (2-3): 35–41.
- Wagner, F.; Warth, P. & Schmalz, W. (2021): UBA Themen 81/2021 – Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegsmaßnahmen an einem Wasserkraftstandort für die Umsetzung des WHG § 35, Abschlussbericht, Jena. Online verfügbar unter <https://forum-fischschutz.de/evaluierung-von-fischschutz-und-fischabstiegsma%C3%9Fnahmen-einem-wasserkraftstandort-f%C3%BCr-die-umsetzung>

**Datum**  
Juni 2021

Dieses Fact Sheet wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Fact Sheets liegt beim Autor. Es handelt sich dabei weder um eine innerhalb des Forums Fischschutz & Fischabstieg abgestimmte Position, noch um eine offizielle Meinung des Umweltbundesamtes oder des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

### Autor

Dr. Falko Wagner – Institut für Gewässerökologie & Fischereibiologie, Jena

### Redaktion

Melanie Kemper – Ecologic Institut, Berlin

### Grafikdesign und Layout

Jennifer Rahn – Ecologic Institut, Berlin

### Titelbild

Foto: Institut für Gewässerökologie & Fischereibiologie, Jena - Fischschutzrechen an der WKA Muldestausee

### Danksagung

Wir danken Stephan Naumann und Rita Keuneke für ihre Unterstützung bei der Erstellung des Fact Sheets, die kritische Durchsicht und die konstruktiven Anmerkungen, sowie Stephan Heimerl, Detlev Ingendahl, Gerhard Kemmler, Walter Reckendorfer, Johannes Schnell, und Hans-Dieter Heilig für die kritische Durchsicht und die konstruktiven Anmerkungen.

### Über das Forum Fischschutz & Fischabstieg



Das Forum Fischschutz & Fischabstieg ist eine Veranstaltungsreihe, die dem Interessen übergreifenden Informations- und Erfahrungsaustausch zum Fischschutz und Fischabstieg unter fachlichen Gesichtspunkten dient. Unter Fischschutz wird im Kontext des Forums der anlagenbezogene Fischschutz verstanden und nicht der allgemeine Schutz von Fischen zum Erhalt des Bestandes und der Art.

Das Forum wurde 2012 vom Umweltbundesamt gegründet. Es wird im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert.

Mehr Informationen zum Forum, zu den Ergebnissen der Workshops, zu Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen sowie zu Forschungsvorhaben sind verfügbar unter: [www.forum-fischschutz.de](http://www.forum-fischschutz.de).

